



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISA PERCEPATAN UMUR ISOLATOR KERAMIK PADA
SALURAN DISTRIBUSI 20 KV DI DAERAH PESISIR PANTAI
AKIBAT KONTAMINAN UDARA**

Dirman Hariono Santosa
NRP. 2215 105 019

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Daniar Fahmi, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISA PERCEPATAN UMUR ISOLATOR KERAMIK PADA
SALURAN DISTRIBUSI 20 KV DI DAERAH PESISIR PANTAI
AKIBAT KONTAMINAN UDARA**

Dirman Hariono Santosa
NRP. 2215 105 019

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Danar Fahmi, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

***ANALYSIS OF ACCELERATED AGING OF CERAMIC INSULATORS
ON 20 KV DISTRIBUTION LINE IN COASTAL AREA DUE TO AIR
CONTAMINANTS***

Dirman Hariono Santosa
NRP. 2215 105 019

Advisor

Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
Danar Fahmi, ST., MT.

***DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017***

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisa Percepatan Umur Isolator Keramik pada Saluran Distribusi 20 kV di Daerah Pesisir Pantai Akibat Kontaminan Udara**” adalah benar-benar hasil karya mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Dirman Hariono Santosa
NRP 2215 105 019

**ANALISA PERCEPATAN UMUR ISOLATOR KERAMIK PADA
SALURAN DISTRIBUSI 20 KV DI DAERAH PESISIR PANTAI
AKIBAT KONTAMINAN UDARA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
NIP. 19700712 199802 1 001

Daniar Fahmi, ST., MT.
NIP. 19890925 201404 1 002



Analisa Percepatan Umur Isolator Keramik pada Saluran Distribusi 20 kV di Daerah Pesisir Pantai Akibat Kontaminan Udara

Nama : Dirman Hariono Santosa
Pembimbing I : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc
Pembimbing II : Daniar Fahmi, ST., MT.

ABSTRAK

Pada tugas akhir ini, menganalisa karakteristik isolator keramik, yang meliputi arus bocor dan tegangan *breakdown* isolator akibat kontaminan udara pada pesisir pantai. Diketahui bahwa besar ESDD di daerah Gresik sebesar $0,3994 \text{ gr/cm}^2$ dengan kandungan kontaminan yaitu, K (0,31%), Na (7,4%), Ca (31,54%), dan Mg (30,77%). Prekondisi isolator dilakukan menggunakan metode *salt-fog* dengan salinasi garam bertingkat, dimulai dari $9,409 \text{ kg/m}^3$ hingga $65,863 \text{ kg/m}^3$. Modul pengujian *salt-fog* berukuran $1 \times 1 \times 1,3 \text{ m}^3$. Pelaksanaan *salt-fog* dilakukan sesuai dengan tingkatan salinasi selama 3 jam, setelah itu dilanjutkan penyinaran UV dan pengeringan kontaminan pada permukaan isolator menggunakan *heater* selama 6 jam. Selanjutnya isolator diuji pada rangkaian *breakdown voltage test* dan *leakage current test*, serta dilakukan SEM-test, dengan sampel yang digunakan adalah isolator keramik bersalinasi $65,863 \text{ kg/m}^3$ dan tanpa kontaminan. Dari hasil pengujian didapatkan tegangan *breakdown* lewat denyar isolator menurun tiap kenaikan salinasi garam. Hal ini terlihat dari nilai tegangan *breakdown* lewat denyar isolator terbesar ketika Isolator tanpa proses *salt-fog* (tanpa prekondisi) yaitu sebesar 54 kV sedangkan nilai terkecil sebesar 24 kV ketika isolator bersalinasi $65,863 \text{ kg/m}^3$. Nilai arus bocor isolator meningkat sebanding dengan besar salinasi garam. Hal ini bisa terlihat dari nilai arus bocor rata-rata isolator terkecil ketika Isolator tanpa proses *salt-fog* (tanpa prekondisi) yaitu sebesar 0,648 mA, sedangkan nilai arus bocor terbesar, yaitu 4,629 mA didapatkan ketika isolator bersalinasi $65,863 \text{ kg/m}^3$.

Kata kunci : isolator keramik , *salt-fog*, arus bocor, tegangan *breakdown* lewat denyar

Halaman ini sengaja dikosongkan.

Analysis of Accelerated Aging of Ceramic Insulators on 20 kV Distribution Line in Coastal Area Due to Air Contaminants

Nama : Dirman Hariono Santosa
Pembimbing I : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc
Pembimbing II : Daniar Fahmi, ST., MT.

ABSTRACT

In this final project is analyzing the characteristics of ceramic insulators, which is leakage current and breakdown voltage of insulators due to air contamination on the coast. It is known that the ESDD of Gresik area is 0.3994 gr / cm² with contaminant content such as, K (0.31%), Na (7.4%), Ca (31.54%), and Mg (30.77%), Insulator conditioning was performed using salt-fog method that chamber dimension is 1x1x1,3 m³. The salt-fog was performed according to the salination level during 3 hours. After that, UV irradiation and contaminant drying on the surface of the insulators using heater during 6 hours. Furthermore, the insulator is tested on the circuit breakdown voltage test and leakage current test and also SEM-test is done in insulator with salinity is 65.863 kg/m³ and without salt-fog (without conditioning). From the test, it is looked that the breakdown voltage of the insulator decreases each salinity increase. This is seen from the breakdown voltage value through the largest isolator when the isolator without salt-fog (without conditioning) that is equal to 54 kV while the smallest value of 24 kV when salinity is 65.863 kg/m³. The leakage current value of the insulator increases in proportion to the salinity. This can be seen from the average leakage current value of the smallest isolator when the isolator without salt-fog process (without conditioning) that is equal to 0.648 mA, while the largest leakage current value, which is 4.629 mA obtained when salinity is 65.863 kg/m³.

Keywords : *ceramic insulator , salt-fog, leakage current, breakdown voltage*

Halaman ini sengaja dikosongkan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat-Nya penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir Penulis yang berjudul : **“Analisa Percepatan Umur Isolator Keramik pada Saluran Distribusi 20 kV di Daerah Pesisir Pantai Akibat Kontaminan Udara”** secara tepat waktu.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan pendidikan sarjana di Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Sehingga penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Hari Susanti, selaku ibunda dari penulis yang selalu memberikan motivasi dan do'a kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan secara tepat waktu.
2. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng sebagai Ketua Departemen Teknik Elektro – Fakultas Teknologi Elektro - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Bapak Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc dan Daniar Fahmi, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Seluruh Asisten Laboratorium Tegangan Tinggi ITS- Surabaya.
5. Keluarga EI'16 yang selalu memberikan semangat dan inspirasi kepada penulis.
6. Keluarga Kontrakan HS yang selalu mengayomi penulis.
7. Atika Dwi Ayu Saraswati yang telah memberikan seluruh semangat dan motivasi demi keberlangsungan pengerjaan Tugas Akhir dan kesuksesan penulis.

Penulis berharap Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Sistematika Penulisan	2
BAB 2 ISOLATOR TEGANGAN TINGGI	3
2.1 Isolator	3
2.2 Karakteristik Isolator	3
2.3 Jenis Isolator	4
2.4 Bahan Dielektrik Isolator.....	4
2.4.1 Isolator Keramik.....	5
2.4.2 Isolator Gelas.....	5
2.4.3 Isolator Polimer	6
2.5 Kondisi Wilayah Pesisir Pantai di Indonesia	6
2.6 Pembentukan Sudut Kotak Pada Butir Air	7
2.7 Klasifikasi Tingkat Intensitas Polusi	8
2.8 Uji polusi Buatan Berdasarkan Tingkat Polusi	9
2.9 Tegangan Lewat Denyar Bolak-Balik Kering	9
2.10 Arus Bocor.....	10
BAB 3 PERANCANGAN PREKONDISI ISOLATOR KERAMIK....	11
3.1 Kontruksi Isolator Tumpu Bahan Keramik.....	11
3.2 Pemilihan Sudut Kontak Butir Air Pada Isolator Keramik.....	11
3.3 Kontaminasi Udara Pada Permukaan Isolator	12
3.3.1 Polutan dan ESDD Daerah Gresik	12
3.3.2 Perhitungan Luas Permukaan Isolator	12
3.3.3 Perhitungan Salinasi Garam Pada Isolator	14
3.4 Pengujian <i>Salt-fog</i>	14
3.5 Pengujian Karakteristik Dielektrik Isolator Keramik	16
3.5.1 <i>Breakdown Voltage Test</i> Menggunakan Tegangan Lewat Denyar Bolak-Balik Kering	16

3.5.2 <i>Leakage-Current Test</i> dengan Menggunakan Labview	17
3.6 SEM- <i>test</i>	18
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA PREKONDISI ISOLATOR	
KERAMIK	19
4.1 Perhitungan Kontaminan Pengujian <i>Salt-fog</i> Berdasarkan Tingkatan ESDD	19
4.2 Pengujian Pembangkitan Tegangan Tinggi AC.....	20
4.3 Prekondisi Isolator Dengan Metode <i>Salt-fog</i>	22
4.4 Pengujian Terhadap Tegangan <i>Breakdown</i> Lewat Denyar.....	25
4.5 Pengujian Terhadap Arus Bocor Isolator	29
4.6 Hasil SEM- <i>test</i>	33
BAB 5 PENUTUP	35
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA	37
RIWAYAT HIDUP	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Line post(a), pin post(b), pin(c).....	4
Gambar 2.2 Isolator polimer(a),isolator keramik(b),isolator gelas(c)	6
Gambar 2.3 Pembentukan sudut kotak pada permukaan Isolator	7
Gambar 3.1 Kontruksi isolator tumpu bahan keramik	11
Gambar 3.2 Ilustrasi pemodelan <i>salt-fog test</i>	15
Gambar 3.3 Ilustrasi rangkaian pengujian <i>breakdown voltage test</i>	16
Gambar 3.4 Ilustrasi rangkaian pengujian <i>leakage-current test</i>	17
Gambar 4.1 Kontaminan udara CaCl_2 (a), KCl (b), MgCl_2 (c), NaCl (d) ..	19
Gambar 4.2 <i>Panel control box</i> pembangkitan tegangan tinggi	20
Gambar 4.3 Modul pembangkitan tegangan AC 20 kV	21
Gambar 4.4 Modul <i>chamber salt-fog</i> (a), <i>sprayer</i> kontaminan(b)	23
Gambar 4.5 Rangkaian <i>breakdown voltage test</i>	25
Gambar 4.6 Monitor <i>voltmeter</i> pada <i>panel control box</i> pembangkitan..	25
Gambar 4.7 Grafik kelajuan tegangan lewat denyar isolator	29
Gambar 4.8 Grafik persamaan kelajuan tegangan standar lewat denyar isolator.....	29
Gambar 4.9 CT-200/5	30
Gambar 4.10 Pencatatan data arus bocor isolator melalui <i>software Labview</i>	30
Gambar 4.11 Grafik kelajuan arus bocor isolator	31
Gambar 4.12 Grafik persamaan kelajuan arus bocor rata-rata isolator ..	32
Gambar 4.13 Grafik persamaan kelajuan arus bocor rata-rata isolator ..	33

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik isolator.....	4
Tabel 2.2 Tingkat polusi dilihat dari aspek lingkungan	8
Tabel 2.3 Pengujian polusi buatan berdasarkan standar IEC 507	9
Tabel 3.1 Spesifikasi <i>salt-fog</i> menurut IEC 1109	16
Tabel 4.1 Perbandingan salinasi terhadap ESDD.....	20
Tabel 4.2 Hasil pengukuran pembangkitan tegangan tinggi AC.....	22
Tabel 4.3 Pelaksanaan <i>salt-fog</i> dan penyinaran	23
Tabel 4.4 Hasil pengukuran temperatur dan kelembaban <i>salt-fog</i>	24
Tabel 4.5 Hasil pengukuran tegangan lewat denyar.....	26
Tabel 4.6 Hasil perhitungan tegangan lewat denyar keadaan standar	28
Tabel 4.7 Hasil pengukuran arus bocor.....	31
Tabel 4.8 Hasil perhitungan impedansi dalam isolator	32
Tabel 4.8 Hasil SEM- <i>test</i>	33

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Salah satu peralatan tegangan tinggi pada jaringan distribusi saluran udara adalah isolator. Isolator berfungsi mengisolir konduktor saluran distribusi yang bertegangan dengan tiang penyangga konduktor agar arus listrik tidak mengalir dari konduktor jaringan ke tanah (Tobing, Bonggas, L, 2012) [1]. Pada umumnya jaringan distribusi udara 20 kV menggunakan peralatan isolator keramik karena harganya murah dan struktur atom penyusun yang stabil, sehingga memiliki kekuatan mekanis yang baik. Permukaan isolator keramik memiliki sifat mudah dibasahi oleh air, oleh sebab itu permukaan isolator dapat dengan mudah terlapisi oleh kontaminan yang bersifat konduktif [2]. Pada daerah pesisir pantai, udara yang dibawa angin mengandung garam akibat penguapan air laut saat siang hari. Kondisi ini menyebabkan bagian permukaan isolator keramik terlapisi oleh kristal garam dan kontaminan dari polusi udara [3].

Kristal garam yang melapisi permukaan isolator keramik, akan membuat sifat konduktif isolator meningkat sehingga nilai impedansi dalam isolator semakin berkurang. Hal ini dapat menyebabkan ketahanan terhadap kebocoran arus dan tegangan *breakdown* pada isolator keramik menurun [4]. Sehingga diperlukan analisa untuk mengetahui bagaimana pengaruh kontaminan udara daerah pesisir pantai terhadap arus bocor dan tegangan *breakdown* serta umur operasi isolator keramik. Permasalahan mengenai pengaruh kontaminan udara terhadap isolator keramik akan diselesaikan dengan pengujian arus bocor dan tegangan *breakdown* isolator keramik 20 kV yang telah dikondisikan berdasarkan kondisi lingkungan sebenarnya dengan menggunakan metode *salt-fog* di Laboratorium Tegangan Tinggi, Teknik Elektro ITS Surabaya. Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah mengetahui ketahanan isolator keramik yang terkontaminan udara terhadap arus bocor dan tegangan *breakdown* dibanding isolator keramik tanpa terkontaminan.

Metode penelitian tugas akhir ini diawali dari studi literatur, yaitu mengumpulkan teori penunjang berupa buku, jurnal atau *paper* yang berhubungan dengan tugas akhir. Teori-teori penunjang seperti studi analisis arus bocor dan tegangan *breakdown* isolator. Dilanjutkan

pengumpulan data melalui permohonan data isolator di PLN Distribusi Jawa Timur dan melalui sumber jurnal yang berkaitan dengan data-data kontaminan udara serta spesifikasi teknis dan elektrik isolator keramik saluran distribusi 20 kV yang dibutuhkan pada tugas akhir ini. Setelah data-data tersebut didapatkan, dilakukan prekondisi isolator pada *chamber* pengujian menggunakan metode *salt-fog test*. Isolator akan dilapisi kontaminan udara dengan salinasi tertentu, kemudian dilakukan pengujian terhadap isolator untuk mengetahui nilai tegangan *breakdown* terukur dan arus bocor pada isolator melalui *software* LabView. Data nilai arus bocor dan tegangan *breakdown* pada isolator yang telah didapatkan dari hasil pengujian, akan dianalisa untuk mengetahui penurunan ketahanan dielektrik dan impedansi dalam isolator akibat peningkatan jumlah kontaminan pada isolator.

1.2 Sistematika Penulisan

Selama penelitian tugas akhir, dilakukan penyusunan laporan buku tugas akhir, yang dimuat dalam beberapa bab. Pada bab satu membahas dasar-dasar penyusunan tugas akhir, meliputi latar belakang, permasalahan yang diangkat, tujuan yang diharapkan, metodologi, penelitian dan sistematika laporan tugas akhir.

Selanjutnya pada bab dua membahas teori-teori penunjang yang melandasi tugas akhir ini, seperti pengertian dan spesifikasi isolator keramik serta tingkat polusi udara pada isolator.

Pada bab tiga menjelaskan perancangan dan perekonsian isolator keramik, meliputi design *chamber* pengujian *salt-fog*, desain pengujian dan pengambilan data arus bocor dan tegangan *breakdown* isolator keramik.

Kemudian pada bab lima, membahas mengenai pengujian, pengambilan data arus bocor dan tegangan *breakdown* pada isolator keramik serta analisisnya.

Pada bab lima menjelaskan kesimpulan dari hasil pengujian isolator keramik yang telah dilakukan. Selain itu juga dilampirkan saran yang diharapkan mampu memberikan perbaikan serta penyempurnaan terkait keberlanjutan tugas akhir ini.

BAB 2

ISOLATOR TEGANGAN TINGGI

2.1 Isolator

Isolator merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk memisahkan dua buah penghantar listrik atau lebih yang berdekatan, serta bagian bertegangan dan tidak bertegangan pada peralatan listrik agar tidak terjadi aliran arus bocor (*leakage current*) atau *flash over* dari satu penghantar ke penghantar yang lain, dan tidak terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik. Isolator harus memiliki kekuatan dielektrik dan mekanis yang baik, supaya dapat menahan beban potensial atau medan listrik dan beban mekanis kawat penghantar tanpa mengurangi kemampuan kerja dari isolator. Beberapa hal yang dapat mengurangi kemampuan kerja dari isolator adalah kondisi temperatur, kontaminasi dan kondisi fisik isolator [1].

2.2 Karakteristik Isolator

Karakteristik isolator secara umum dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

1. Karakteristik elektrik isolator

Suatu karakteristik elektrik isolator dapat dikatakan baik apabila memiliki tahanan isolasi besar, kekuatan dielektrik tinggi, konduktivitas thermal tinggi, bebas dari pori yang berisi gas sehingga pada isolator tidak terjadi peluahan parsial. Suatu isolator dirancang sehingga tegangan tembusnya jauh lebih tinggi daripada tegangan lewat denyarnya. Sehingga, kekuatan dielektrik suatu isolator dapat ditentukan dan diperkirakan dari tegangan lewat denyar bolak-balik pada keadaan kering.

2. Karakteristik mekanis isolator

Suatu karakteristik mekanis isolator dapat dikatakan baik apabila memiliki mekanik kekuatan mekanis tinggi, bahan isolator harus bebas dari bahan kotoran, tidak retak dan tidak berpori, material isolator tidak mudah terbentuk jejak karbon, penyebaran panas rendah, tahan terhadap panas, tidak mudah terjadi korosi pada isolator. Kekuatan mekanis isolator dinyatakan dalam tiga keadaan beban, yaitu kuat mekanis tarik, kuat mekanis tekan dan kuat mekanis tekuk [4].

2.3 Jenis Isolator

Terdapat dua jenis isolator yang dipakai pada jaringan distribusi 20 kV sesuai dengan fungsinya, yaitu:

1. Isolator Tumpu (*line insulator*), terdapat berbagai istilah : *line post insulator*, *pin postinsulator*, *pininsulator*.
2. Isolator Regang (*Suspension Insulator*), terdapat 2 macam yaitu : isolator payung (*umbrella insulator*) dan *long rod insulator*.

Isolator tumpu adalah salah jenis isolator yang sering digunakan pada sistem distribusi di Indonesia [5].

Tabel 2.1 Karakteristik isolator

No	Karakteristik	Jenis Isolator		
		Line Post	Pin Post	Pin
1	Tegangan kerja maksimal	24 kV	24 kV	22 kV
2	<i>Withstand voltage</i>	65 kV	65 kV	75 kV
3	<i>Impulse Withstand voltage</i>	125 kV	125 kV	125 kV
4	<i>Mechanical strength</i>	1250 daN	1250 daN	850 daN
5	<i>Creepage distance</i>	559 mm	534 mm	583 mm
6	Berat	9,2 kg	10 kg	10 kg



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.1 Line post (a), pin post (b), pin (c)

2.4 Bahan Dielektrik Isolator

Bahan penyusun sebuah isolator mempengaruhi kekuatan dielektrik dan mekanis isolator tersebut. Secara umum bahan yang sering digunakan adalah porselin, gelas dan polimer.

2.4.1 Isolator Keramik

Isolator keramik dibuat dari bahan campuran tanah porselin, kwarts, dan veld spaat, yang bagian luarnya dilapisi dengan bahan glazuur agar bahan isolator tersebut tidak berpori-pori. Isolator keramik memiliki sifat tidak menghantar (*non conducting*) listrik yang tinggi, karena kekuatan dielektriknya tinggi dan memiliki kekuatan mekanis yang besar serta harga yang ekonomis. Kekuatan mekanik keramik bergantung cara pembuatannya. Keramik sangat baik jika bekerja memikul beban tekan, tetapi sifat mekanisnya memburuk jika memikul beban tekuk dan semakin memburuk jika memikul beban tarik. Kekuatan mekanis keramik standar adalah 45.000 kg/cm untuk beban tekan, 700 kg/cm² untuk beban tekuk, dan 300 kg/cm² untuk beban tarik. Kekuatan mekanik suatu isolator keramik juga bergantung pada konstruksi jepitan, cara menghubungkan keramik dengan jepitan dan luas penampang keramik [1].

2.4.2 Isolator Gelas

Selain bahan porselin, bahan gelas juga banyak digunakan sebagai isolator pasangan luar (*outdoor insulator*) atau isolator saluran udara. Bahan gelas mempunyai kelebihan-kelebihan antara lain:

1. Kekuatan dielektriknya tinggi
2. Koefisien muainya rendah
3. Kuat tekannya lebih besar daripada bahan porselin
4. Tembus pandang, maka jika ada keretakan, ketidakmurnian bahan dan gelembung udara, hal-hal tersebut mudah diketahui
5. Harga isolator gelas lebih murah daripada isolator porselin.

Isolator gelas juga mempunyai kekurangan-kekurangan sebagai berikut :

1. Isolator gelas memiliki sifat kondensasi (mengembun) sehingga debu dan kotoran mudah melekat di permukaan isolator tersebut. Kotoran basah ini dapat membuat permukaan isolator menjadi semakin konduktif sehingga arus bocor yang mengalir melalui permukaan isolator semakin besar. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya lewat denyar pada isolator tersebut.
2. Memiliki tegangan tembus yang rendah, dan kekuatan dielektriknya berubah dengan cepat sesuai dengan perubahan temperatur.
3. Isolator gelas mudah dipengaruhi oleh perubahan temperatur disekelilingnya sehingga dapat menyebabkan pemuaian pada gelas. Pemuaian ini dapat menyebabkan isolator gelas rentan pecah [1].

2.4.3 Isolator Polimer

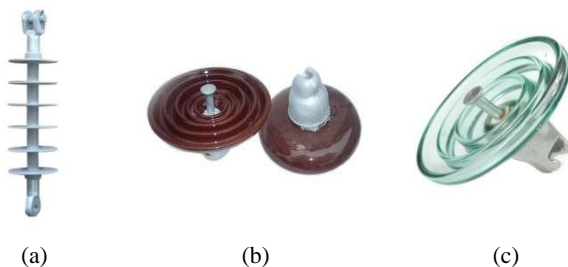
Isolator berbahan polimer mulai banyak di gunakan di berbagai negara sebagai pengganti bahan porselin dan gelas karena isolator jenis ini menunjukkan performansi yang bagus pada beberapa kondisi berpolusi. Beberapa kelebihan dan kerungan isolator polimer dibandingkan dengan bahan porselin dan gelas [6].

Kelebihan isolator polimer antara lain :

1. Ringan, karena memiliki massa jenis yang lebih kecil dibandingkan isolator berbahan porselin dan gelas sehingga mempermudah proses instalasi.
2. Sifat dielektrik dan termal yang lebih tinggi.
3. Memiliki sifat hydrofobik (menolak air) yang sangat tinggi, sehingga mempunyai kemampuan isolasi lebih baik dalam kondisi terpolusi dan basah.
4. Proses pembuatan lebih singkat.

Kekurangan dari isolator polimer adalah :

1. Degradasi pada permukaan lebih cepat akibat sinar UV matahari maupun zat kimia yang membentuk reaksi pada permukaan isolator, sehingga rentan terhadap perubahan cuaca.
2. Kegagalan isolator sulit terdeteksi.
3. Kekuatan mekanisnya kecil
4. Harganya jauh lebih mahal dibanding isolator keramik atau gelas.



Gambar 2.2 Isolator polimer (a), isolator keramik (b), isolator gelas (c)

2.5 Kondisi Wilayah Pesisir Pantai di Indonesia

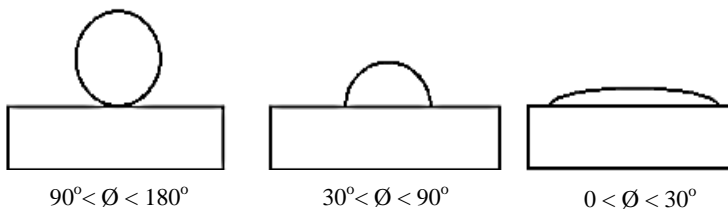
Indonesia yang membentang sepanjang garis khatulistiwa beriklim tropis dengan faktor iklim lama penyinaran matahari 12 jam, temperatur udara berkisar antara 20-35⁰ C dan kelembaban sekitar 60-95%, serta

curah hujan cukup tinggi antara 40-500 mm. Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia beriklim tropis dengan kelembaban yang cukup tinggi [3]. Organisasi Greenpeace mengatakan bahwa Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat polusi tinggi. Sehingga kondisi lingkungan seperti ini dapat menurunkan kinerja isolator pasangan luar. Berbagai studi mengungkapkan bahwa pada umumnya kontaminan udara bersifat konduktif yang terlapisi pada permukaan isolator menyebabkan kerugian pada jaringan distribusi karena munculnya arus bocor permukaan dan ruah dengan sebanding dengan menurunnya sifat dielektrik isolator [4].

2.6 Pembentukan Sudut Kotak Pada Butir Air

Sudut kontak (θ) merupakan sudut yang terbentuk antara permukaan isolator dengan kontaminan air yang berada pada permukaan isolator. Besar sudut kotak yang terbentuk mempengaruhi sifat hydrofobik isolator (sifat menolak air pada isolator dalam keadaan terpolusi dari bahan dielektriknya). Pembentukan sudut kotak pada permukaan isolator dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam[6], yaitu :

1. Basah keseluruhan
Sudut kotak yang terbentuk antara butir air dengan permukaan isolator kurang dari 30 derajat.
2. Basah sebagian
Sudut kotak yang terbentuk antara butir air dengan permukaan isolator pada interval 30 s/d 89 derajat.
3. Tidak basah
Sudut kotak yang terbentuk antara butir air dengan permukaan isolator pada interval 90 s/d 179 derajat.



Gambar 2.3 Pembentukan sudut kotak pada permukaan Isolator

2.7 Klasifikasi Tingkat Intensitas Polusi

Menurut SPLN 10-3B, tingkat polusi isolator ditetapkan menjadi empat, yaitu ringan, sedang, berat dan sangat berat. Penentuan tingkat intensitas polusi berdasarkan ciri-ciri keadaan lingkungan di lapangan ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Tingkat polusi dilihat dari aspek lingkungan [7]

Tingkat Polusi	Contoh Lingkungan
Ringan	<ol style="list-style-type: none">1. Kawasan tanpa industri dengan kepadatan rumah rendah yang dilengkapi sarana pembakaran.2. Kawasan dengan kepadatan industri rendah atau kepadatan rumah rendah tetapi sering terkena angin atau hujan3. Kawasan pertanian4. Kawasan pegunungan Kawasan ini harus terletak paling sedikit 10 km sampai 20 km dari laut dan bukan kawasan terbuka bagi hembusan angin langsung dari laut.
Sedang	<ol style="list-style-type: none">1. Kawasan dengan industri yang tidak secara khusus menghasilkan asap polusi atau kepadatan rumah sedang yang dilengkapi dengan pembakaran.2. Kawasan dengan kepadatan rumah tinggi atau kepadatan industri tinggi tetapi sering terkena angin dan hujan.3. Kawasan terbuka bagi angin dari laut tetapi tidak terlalu dekat dengan pantai (paling sedikit berjarak beberapa kilometer dari pantai).
Berat	<ol style="list-style-type: none">1. Kawasan dengan kepadatan industri tinggi dan pinggiran kota besar dengan kepadatan sarana pembakaran tinggi yang menghasilkan polusi tinggi.2. Kawasan dekat laut atau dalam keadaan terbuka bagi hembusan angin yang relatif kencang dari laut.
Sangat Berat	<ol style="list-style-type: none">1. Kawasan yang umumnya terkena debu konduktif dan asap industri yang khususnya menghasilkan endapan konduktif yang tebal.

Tabel 2.2 Tingkat polusi dilihat dari aspek lingkungan (lanjutan)

Tingkat Polusi	Contoh Lingkungan
Sangat Berat	2. Kawasan yang umumnya sangat dekat dengan pantai dan terbuka bagi hembusan angin terpolusi sangat kencang dari laut
	3. Kawasan padang pasir yang ditandai dengan tidak ada hujan dalam jangka waktu lama, terbuka bagi angin kencang yang membawa pasir dan garam.

2.8 Uji polusi Buatan Berdasarkan Tingkat Polusi

Menurut IEC-507, pengujian polusi buatan pada isolator ditetapkan menjadi empat, yaitu ringan, sedang, berat dan sangat berat. Penentuan tingkat pengjian intensitas polusi buatan berdasarkan tingkat polusi ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Pengujian polusi buatan berdasarkan standar IEC 507 [8]

Tingkat Polusi	Uji Polusi Butan Metode Kabut Garam (Kg/m ³)
Ringan	5 - 14
Sedang	14 - 40
Berat	40 - 112
Sangat Berat	> 160

2.9 Tegangan Lewat Denyar Bolak-Balik Kering

Tegangan ini merupakan karakteristik dari isolator untuk mengetahui kekuatan dielektrik isolator. Tegangan lewat denyar bolak-balik kering dalam keadaan standar dilakukan pada temperatur 20⁰ C dan tekanan udara sebesar 760 mmHg [9]. Tegangan lewat denyar kering pada temperatur dan tekanan udara sembarang dapat ditentukan dengan persamaan 2.1 dan 2.2

$$V = \delta V_s \quad (2.1)$$

V = Tegangan lewat denyar isolator pada sembarang keadaan udara.

V_s = Tegangan lewat denyar isolator pada keadaan udara standar.

δ = Faktor koreksi udara.

$$\delta = \frac{P}{1013} \times \frac{273+20}{273+T} \quad (2.2)$$

T = Temperatur udara (°C).

P = Tekanan udara (mBar).

2.10 Arus Bocor

Arus bocor pada isolator dapat disebabkan karena adanya bagian konduktif pada permukaan isolator. Kontaminan polutan yang menempel pada permukaan isolator dapat mempengaruhi konduktivitas isolator karena kontaminan tersebut dapat bersifat konduktif dan non-konduktif. Polutan yang bersifat konduktif berperan sebagai jalur arus bocor[4].

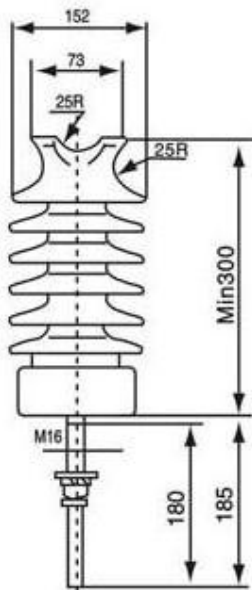
Selain faktor kontaminasi, arus bocor juga dipengaruhi oleh kontaminasi air. Isolator kondisi kering dan tanpa polutan, memiliki tahanan listrik dan kuat dielektrik yang sangat besar sehingga nilai arus bocor sangat kecil. Sedangkan isolator dengan bagian permukaan yang terlapisi kontaminan konduktif dan kontaminasi air, mengakibatkan penurunan kemampuan tahanan listrik dan kuat dielektrik sehingga mengakibatkan peningkatan nilai arus bocor [2].

BAB 3

PERANCANGAN PREKONDISI ISOLATOR KERAMIK

3.1 Kontruksi Isolator Tumpu Bahan Keramik

Pada isolator keramik, kontruksi utama berbentuk piringan dengan cap dan tonggak terbuat dari besi tempaan atau baja. Cap dan tonggak direkatkan menggunakan semen pada bagian piringan dengan bahan keramik.



Gambar 3.1 Kontruksi isolator tumpu bahan keramik

3.2 Pemilihan Sudut Kontak Butir Air Pada Isolator Keramik

Sudut kontak pada butiran air yang mengenai permukaan isolator berpengaruh pada kemampuan dielektrik isolator. Untuk melihat pengaruh besar sudut kontak butir air terhadap kemampuan dielektrik isolator, akan dilakukan perancangan sifat hydrofobik pada sirip pertama isolator keramik dengan kontaminan pada kondisi basah keseluruhan, yaitu butiran air memiliki sudut kontak kurang dari 30° ($0 < \theta < 30^\circ$).

3.3 Kontaminasi Udara Pada Permukaan Isolator

Mengetahui ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*) diperlukan untuk mengetahui tingkat polutan yang menempel pada permukaan isolator.

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - b(\theta - 20)] \quad (3.1)$$

Keterangan :

σ_{θ} = Konduktifitas pada Temperatur θ

σ_{20} = Konduktifitas pada Temperatur 20°C

b = Faktor Koreksi pada Temperatur θ (IEC 507)

θ = Temperatur Larutan

Setelah konduktifitas pada temperatur 20°C didapatkan, salinasi (S_a) dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$S_a = (5.7 \times \sigma_{20})^{1.03} \quad (3.2)$$

Dari persamaan 3.2, maka nilai ESDD dapat diketahui :

$$ESDD = \frac{S_a \times V}{A} \quad (3.3)$$

Keterangan :

V = Volume air (mL)

A = Luas Isolator yang dikenai kontaminan (cm^2)

S_a = Salinasi garam (Kg/m^3)

3.3.1 Polutan dan ESDD Daerah Gresik

Bahan polutan yang digunakan sebagai kontaminasi pada isolator dilakukan dengan cara buatan dengan komposisi unsur kimiawi mendekati polutan daerah Gresik, yaitu K (0,31%), Na (7,4%), Ca (31,54%), dan Mg (30,77%) dan besar ESDD sebesar $0,3994 \text{ gr/cm}^2$ (PT. PLN & FT. UGM) [10].

3.3.2 Perhitungan Luas Permukaan Isolator

Perhitungan luas permukaan isolator dapat menggunakan persamaan garis sebagai berikut :

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (3.4)$$

Koordinat yang digunakan adalah (0,r) dan (h,R)

$$\frac{y - r}{R - r} = \frac{x - 0}{h - 0} \quad (3.5)$$

Persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi:

$$y = x \left(\frac{R-r}{h} \right) + r \quad (3.6)$$

Rusuk kurva dapat diketahui menggunakan persamaan :

$$s = \sqrt{(R - r)^2 + h^2} \quad (3.7)$$

Untuk mengetahui luasan dari kurva yang mengelilingi sumbu x adalah :

$$A = 2\pi \int_a^b y \sqrt{1 + \left(\frac{R-r}{h} \right)^2} dx \quad (3.8)$$

Jika persamaan 3.6 dimasukkan pada persamaan 3.8, maka :

$$\begin{aligned} A &= 2\pi \int \left[x \left(\frac{R-r}{h} \right) + r \right] \sqrt{1 + \left(\frac{R-r}{h} \right)^2} dx \\ A &= 2\pi \sqrt{\frac{h^2 + (R-r)^2}{h^2}} \int_0^h \left[x \left(\frac{R-r}{h} \right) + r \right] dx \\ A &= 2\pi \frac{1}{h} \sqrt{h^2 + (R-r)^2} \int_0^h \left[x \left(\frac{R-r}{h} \right) + r \right] dx \\ A &= \frac{2\pi}{h} s \left[\frac{R-r}{2h} x^2 + xr \right]_0^h \end{aligned}$$

$$A = \frac{2\pi}{h} s \left[\frac{(R-r)}{2h} h^2 + hr \right] - \left[\frac{(R-r)}{2h} 0 + 0r \right]$$

$$A = \pi s(R+r) \quad (3.9)$$

Bila diketahui nilai jari-jari dalam (r), jari-jari luar (R) dan tebal isolator (h). Maka nilai s :

$$r = 2.5 \text{ cm}$$

$$R = 7.6 \text{ cm}$$

$$h = 1 \text{ cm}$$

$$s = \sqrt{(7.6 - 2.5)^2 + 1^2}$$

$$s = 5.197 \text{ cm}^2$$

Dengan menggunakan persamaan 3.9. maka nilai A :

$$A = \pi \cdot 5.197(7.6 + 2.5)$$

$$A = 164.905 \text{ cm}^2$$

3.3.3 Perhitungan Salinasi Garam Pada Isolator

Untuk volume air destilasi menggunakan air aquades dengan volume sebesar 1000 mL atau 1 liter. Setelah mengetahui seluruh parameter, maka salinasi garam yaitu :

$$0,3994 \times 10^3 = \frac{Sa \times 1000}{164.905}$$

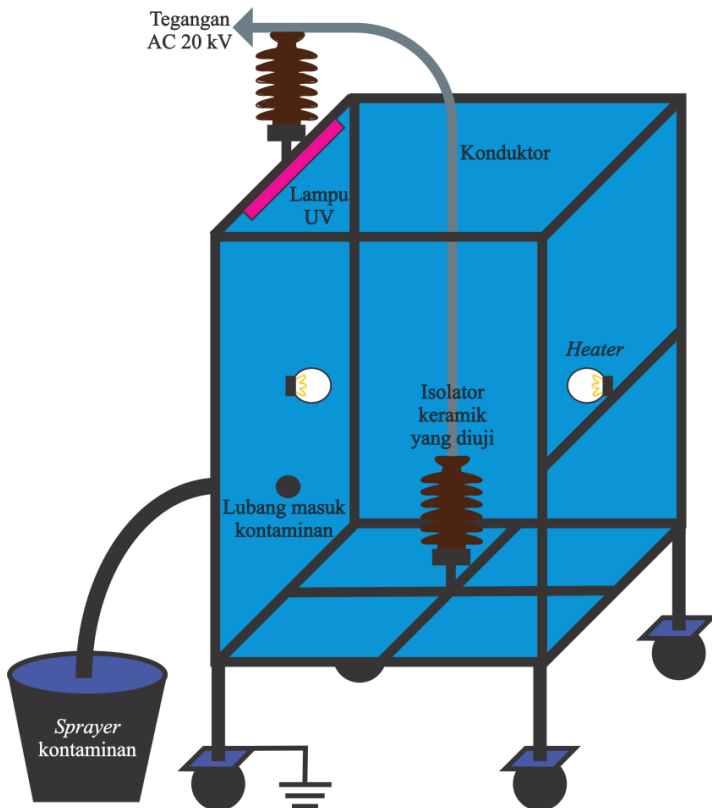
$$Sa = 65,863 \text{ Kg/m}^3$$

Sehingga tingkat polusi pada daerah pesisir pantai Gresik termasuk dalam kategori polusi berat

3.4 Pengujian *Salt-fog*

Pengujian *salt-fog* adalah suatu metode pengujian yang dilakukan dengan memberikan tekanan iklim dan polusi buatan. Ilustrasi

pelaksanaan *salt-fog test* dapat dilihat pada gambar 3.2. Isolator dimasukkan kedalam *chamber* pengujian *salt-fog* berukuran $1 \times 1 \times 1,3 \text{ m}^3$ [11], kemudin diberi suplai tegangan sebesar 20 kV dan disemprotkan kontaminan yang sesuai dengan kondisi lingkungan sebenarnya serta diberi sinar UV dari lampu selama waktu tertentu. Sensor kelembaban dan temperatur diletakkan didalam *chamber* pengujian untuk mengetahui besar temperatur dan kelembaban pada *chamber* awal pengujian dan akhir dari pengujian. Pada pengujian tugas akhir ini, *salt-fog* digunakan untuk mempercepat penuaan isolator berdasarkan berdasarkan lingkungan sebenarnya [12]. *Chamber* pengujian *salt-fog* pada kondisi sebenarnya dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 3.2 Ilustrasi pemodelan *salt-fog test*

Tabel 3.1 Spesifikasi *salt-fog* menurut IEC 1109 dan IEC 507

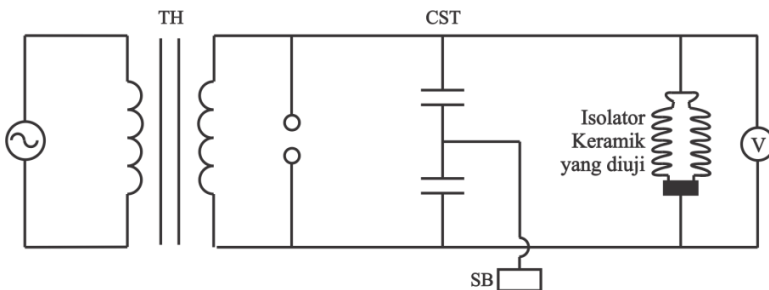
Parameter	Nilai
Debit air	$0,4 \pm 0,1 \text{ Vm}^3\text{h}$
Tegangan tes	14-20 kV
Drop tegangan maksimal	5 % untuk 250 mArms
Level perlindungan arus	1 A
Salinasi maksimal	224 kg/m^3

3.5 Pengujian Karakteristik Dielektrik Isolator Keramik

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa kuat bahan dielektrik isolator mampu menahan tegangan lebih atau fenomena gangguan listrik lainnya. Pada tugas akhir ini, pengujian karakteristik isolator difokuskan pada pengujian tegangan tembus (*breakdown voltage test*) dan karakteristik arus bocor (*leakage-current test*).

3.5.1 Breakdown Voltage Test Menggunakan Tegangan Lewat Denyar Bolak-Balik Kering

Breakdown voltage test adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui tegangan tembus (*breakdown voltage*) isolator keramik yang telah melalui *salt-fog test*. Pada tes ini digunakan sumber pembangkitan AC (Gambar 4.3) yang dialirkan pada isolator keramik hingga terjadi gejala awal tegangan tembus berupa desis pada isolator keramik karena keterbatasan peralatan dari laboratorium. Rangkaian *breakdown voltage test* pada kondisi sebenarnya dapat dilihat pada gambar 4.5.



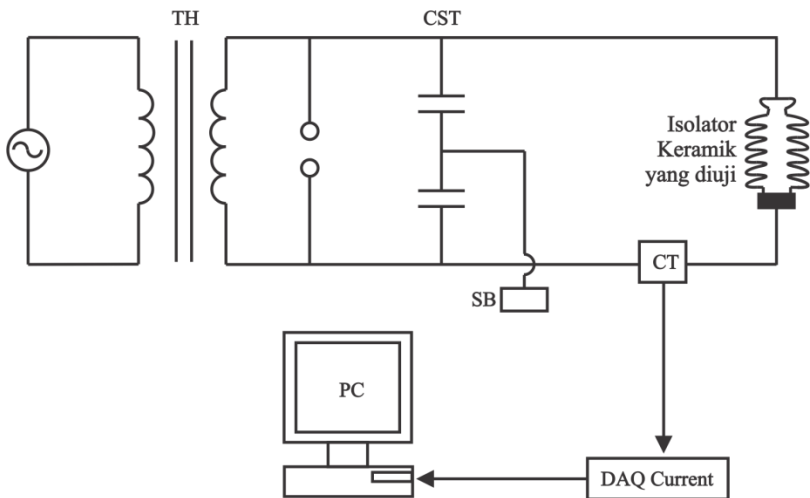
Gambar 3.3 Ilustrasi rangkaian pengujian *breakdown voltage test*

Keterangan:

- TH : *High Voltage Transformer*, 80 kV rms, 5kVA.
 CST : *Divider* 80 kV rms, 400 kV impulse, 500 pF.
 SB : *Control Box Type* 273

3.5.2 *Leakage-Current Test* dengan Menggunakan Labview

Penyebab dari arus bocor bias disebabkan oleh beberapa hal seperti adanya peningkatan konduktivitas permukaan isolator akibat kelembaban, polusi dan beberapa faktor iklim lainnya. Arus bocor dalam sistem distribusi tenaga dapat menyebabkan rugi-rugi daya. Sehingga dalam pemasangan isolator harus memperhatikan beberapa faktor kondisi lingkungan. Maka diperlukan pengujian karakteristik arus bocor (*leak-current test*) pada isolator untuk mengetahui kemampuan ketahanan dielektrik isolator yang dipengaruhi oleh faktor kondisi lingkungan. Pengujian arus bocor dilakukan dengan cara memberikan tegangan AC 20 kV, kemudian pada bagian netral diletakkan CT untuk disambungkan pada modul DAQ arus [13], selanjutnya data arus bocor akan ditampilkan pada Labview setiap 1 menit. Rangkaian *leakage current test* pada kondisi sebenarnya dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 3.4 Ilustrasi rangkaian pengujian *leakage-current test*

Keterangan:

TH : High Voltage Transformer, 80 kV rms, 5kVA.
CST : Divider 80 kV rms, 400 kV impulse, 500 pF.
SB : Control Box Type 273

3.6 SEM-test

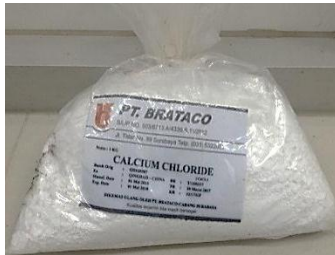
Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan untuk mengetahui perubahan penampakan isolator secara mikroskopis. Pengujian dilakukan pada sampel yang diambil dalam bentuk potongan permukaan isolator keramik yang telah dikondisikan. Dengan menggunakan SEM, maka akan terlihat penampakan permukaan isolator yang terkontaminasi karena SEM dapat melakukan perbesaran hingga 10.000 kali.

BAB 4

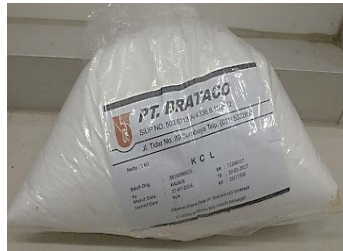
PENGUJIAN DAN ANALISA PREKONDISI ISOLATOR KERAMIK

4.1 Perhitungan Kontaminan Pengujian *Salt-fog* Berdasarkan Tingkatan ESDD

Polutan buatan yang digunakan adalah CaCl_2 , KCl , MgCl_2 , NaCl . Kontaminan buatan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



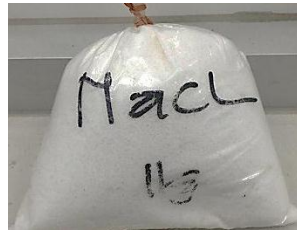
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.1 Kontaminan buatan CaCl_2 (a), KCl (b), MgCl_2 (c), NaCl (d)

Pengujian dilakukan menggunakan metode *salt-fog* dengan salinasi polutan buatan sebesar $9,409 \text{ Kg/m}^3$, $18,818 \text{ Kg/m}^3$, $28,227 \text{ Kg/m}^3$, $37,636 \text{ Kg/m}^3$, $47,045 \text{ Kg/m}^3$, $56,454 \text{ Kg/m}^3$, dan $63,863 \text{ Kg/m}^3$ hingga diperoleh ESDD sebesar $0,3994 \text{ gr/cm}^2$. Komposisi unsur kimiawi mendekati polutan daerah Gresik, yaitu K (0,31%), Na (7,4%), Ca (31,54%), dan Mg (30,77%). Polutan buatan ditimbang dengan menggunakan alat penimbang berat digital agar mendapatkan nilai polutan yang mendekati nilai perhitungan salinasi. Selanjutnya polusi

buatan tersebut dilarutkan dalam air aquades 1 liter. Hasil perhitungan berat polutan yang digunakan untuk setiap salinasi dan perbandingannya terhadap ESDD dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Perbandingan salinasi terhadap ESDD

No.	Salinasi (Kg/m ³)	KCl (gr)	NaCl (gr)	CaCl ₂ (gr)	MgCl ₂ (gr)	ESDD (gr/cm ²)
1	tanpa salinasi	-	-	-	-	-
2	9,409	0,029	3,519	2,967	2,895	0,05706
3	18,818	0,058	7,038	5,935	5,790	0,11411
4	28,227	0,087	10,557	8,903	8,685	0,17117
5	37,636	0,116	14,076	11,870	11,580	0,22823
6	47,045	0,146	17,595	14,838	14,476	0,28528
7	56,454	0,175	21,114	17,805	17,371	0,34234
8	65,863	0,204	24,633	20,773	20,266	0,39940

4.2Pengujian Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

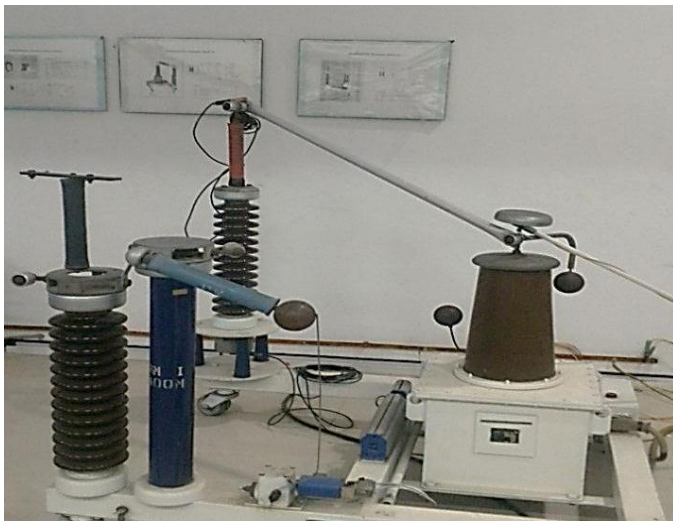
Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besar tegangan pembangkitan AC. Besar tegangan AC yang dihasilkan dari modul pembangkitan AC dipengaruhi oleh besar kapasitor pembagi tegangan.



Gambar 4.2 Panel control box pembangkitan tegangan tinggi

Langkah-langkah pembangkitan tegangan AC adalah sebagai berikut:

1. Memastikan *test-method* pada *control box* pada posisi AC
2. Memastikan pengatur tegangan *transformer* pada kedudukan 0%
3. Memutar kunci kontak pengaman rangkaian pembangkitan hingga terangkat dan menarik kunci kontak pengaman.
4. Menekan tombol warna hijau pada kiri bawah *panel control box*
5. Mengatur tegangan yang diinginkan pada kV meter melalui *transformer* pengatur tegangan dengan menaikkan tegangan secara perlahan
6. Setelah pembangkitan tegangan sesuai dengan yang diinginkan, mencatat hasilnya
7. Proses pedaman pembangkitan dilakukan dengan cara, menurunkan tegangan AC pembangkitan secara perlahan.
8. Apabila tegangan *transformer* pada kedudukan 0% atau 0 kV, menekan tombol warna merah pada kiri bawah *panel control box*
9. Mendorong kunci kontak pengaman dan memutar kunci kontak pengaman rangkaian pembangkitan hingga pada posisi masuk kedalam



Gambar 4.3 Modul pembangkitan tegangan AC 20 kV

Tabel 4.2 Hasil pengukuran pembangkitan tegangan tinggi AC

No.	Presentase pembangkitan (%)	Tegangan terukur (kV)
1	5	8
2	10	12
3	15	18
4	17	20
5	20	22

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian, diketahui bahwa peningkatan presentase tegangan pembangkitan akan meningkatkan tegangan yang terukur. Tegangan terukur 20 kV didapatkan dengan menaikkan presentase pembangkitan tegangan AC sebesar 17 %.

4.3 Prekondisi Isolator Dengan Metode *Salt-fog*

Pengujian dengan menggunakan metode *salt-fog* dilakukan selama 3 jam pada setiap salinasi dengan tegangan AC 20 kV. Tegangan AC 20 kV diperoleh dari modul pembangkitan yang terdapat pada Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS. Modul *chamber* pengujian *salt-fog* yang digunakan dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 4.4. Langkah-langkah pengujian *salt-fog* adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan isolator dan membersihkan bagian permukaan isolator dengan 1 liter aquades dan diusap menggunakan kertas tisu.
2. Memastikan *chamber* pengujian *salt-fog* dalam keadaan bersih dan kering.
3. Mempersiapkan kontaminan buatan dan menimbang berat kontaminan sesuai dengan salinasi pengujian dengan komposisi K (0,31%), Na (7,4%), Ca (31,54%), dan Mg (30,77%).
4. Memasukkan kontaminan ke dalam wadah *sprayer*, kemudian dilarutkan dalam 1 liter aquades
5. Mengaduk kontaminan dalam wadah *sprayer* hingga kontaminan larut dalam 1 liter aquades secara merata.
6. Memasukkan *nebulizer* (mesin asap) ke dalam wadah *sprayer*. *Nebulizer* (mesin asap) berfungsi untuk mengubah wujud benda dari cair menjadi gas.
7. Memasukkan isolator ke dalam dalam *chamber* pengujian *salt-fog*
8. Memastikan netral sistem dan grounding peralatan sudah terhubung pada grounding di Laboratorium Tegangan Tinggi, Teknik Elektro-ITS

9. Mengikat isolator pada konduktor sumber tegangan 20 kV (sumber tegangan 20 kV pada kondisi *off*).
10. Menghidupkan sumber tegangan 20 kV, *nebulizer* (mesin asap) dan kipas DC 12 volt (kipas DC 12 volt digunakan untuk mendorong gas dari wadah *sprayer* ke dalam *chamber* pengujian *salt-fog*)

Setelah salinasi selesai dilakukan, dilanjutkan penyinaran UV selama 3 jam. Termometer dan humidifier diletakkan didalam *chamber* pengujian, untuk mencatat temperatur dan kelembaban di awal dan akhir pengujian. Data pelaksanaan *salt-fog* dan penyinaran UV dapat dilihat pada tabel 4.3



(a)



(b)

Gambar 4.4 Modul *chamber salt-fog*(a), *sprayer* kontaminan(b)

Tabel 4.3 Pelaksanaan *salt-fog* dan penyinaran

No.	Salinasi (Kg/m ³)	<i>Salt-fog</i>		Penyinaran
		Awal	Akhir	Akhir
1	9,409	26/04/2017 16.00 WIB	26/04/2017 19.00 WIB	27/04/2017 01.00 WIB

Tabel 4.3 Pelaksanaan *salt-fog* dan penyinaran (lanjutan)

No.	Salinasi (Kg/m ³)	<i>Salt-fog</i>		Penyinaran
		Awal	Akhir	Akhir
2	18,818	27/04/2017 08.10 WIB	27/04/2017 11.10 WIB	27/04/2017 17.10 WIB
3	28,227	28/04/2017 16.00 WIB	28/04/2017 19.00 WIB	29/04/2017 01.00 WIB
4	37,636	29/04/2017 13.16 WIB	29/04/2017 16.16 WIB	29/04/2017 22.16 WIB
5	47,045	6/05/2017 17.00 WIB	6/05/2017 20.00 WIB	7/05/2017 02.00 WIB
6	56,454	7/05/2017 16.41 WIB	7/05/2017 19.41 WIB	8/05/2017 01.41 WIB
7	65,863	9/05/2017 17.04 WIB	9/05/2017 20.04 WIB	10/05/2017 02.04 WIB

Pengujian *salt-fog* untuk salinasi dari 37,636 kg/m³ ke salinasi 47,045 kg/m³ memiliki jeda waktu pengujian yang cukup lama, karena modul *chamber* pengujian *salt-fog* mengalami peristiwa korona yang ditandai dengan bunyi suara denyar dan munculnya *glowing-glowing* elektron berwarna ungu yang menembus isolasi pada bagian atas *chamber*. Hal ini terjadi karena sumber tegangan AC 20 kV pada kabel penghantar memiliki medan listrik yang cukup kuat untuk menarik garam pengujian dan menempel pada bagian atas *chamber*. Garam-garam yang menempel bersifat konduktif sehingga menurunkan kemampuan isolasi kabel penghantar dan terjadi *breakdown*. Sehingga diperlukan perbaikan *chamber* pada bagian atas agar pengujian *salt-fog* berjalan secara aman dan peristiwa korona tidak terjadi kembali. Data temperatur dan kelembaban di awal dan akhir pengujian dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil pengukuran temperatur dan kelembaban *salt-fog*

No.	Salinasi (Kg/m ³)	Temperatur (°C)		Kelembaban (%)	
		Awal	akhir	awal	Akhir
1	9,409	29,4	32,6	63	88
2	18,818	30,5	32,0	65	89
3	28,227	30,7	32,1	64	89
4	37,636	30,9	32,4	62	89
5	47,045	29,0	33,4	66	89

Tabel 4.4 Hasil pengukuran temperatur dan kelembaban *salt-fog* (lanjutan)

No.	Salinasi (Kg/m ³)	Temperatur (°C)		Kelembaban (%)	
		Awal	akhir	awal	Akhir
6	56,454	31,8	32,8	67	87
7	65,863	29,5	32,6	70	88

4.4 Pengujian Terhadap Tegangan *Breakdown* Lewat Denyar

Setelah proses *salt-fog* telah dilaksanakan, isolator dikeluarkan dari *chamber* pengujian *salt-fog*, kemudian diletakkan pada rangkaian *breakdown voltage test* seperti gambar 4.5



Gambar 4.5 Rangkaian *breakdown voltage test* dan *leakage current test*

Setelah isolator diletakkan pada rangkaian *breakdown voltage test*, kemudian diberikan tegangan AC hingga terjadi gejala awal tegangan tembus berupa desis serta dicatat hasil tegangan *breakdown* lewat denyar melalui monitor *voltmeter* pada *panel control box* pembangkitan.



Gambar 4.6 Monitor *voltmeter* pada *panel control box* pembangkitan

Data pengujian *breakdown voltage test*, meliputi tegangan terukur , temperatur dan tekanan udara pada saat melakukan pengujian. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengukuran tegangan lewat denyar

No.	Salinasi (Kg/m ³)	Tegangan Terukur(kV)	Temperatur Pengujian (°C)	Tekanan Udara Pengujian (mBar)
1	tanpa salinasi	54	30,0	1010,5
2	9,409	50	28,6	1009,9
3	18,818	48	29,9	1008,7
4	28,227	46	28,9	1010,0
5	37,636	42	29,1	1009,5
6	47,045	34	28,4	1010,0
7	56,454	30	28,2	1009,4
8	65,863	24	26,6	1010,9

Data pengujian *breakdown voltage test*, dilakukan pada keadaan temperatur dan tekanan udara sembarang. Sehingga data tersebut harus diolah untuk didapatkan tegangan lewat denyar pada keadaan standar menggunakan rumus 2.1 dan 2.2. Berikut ini adalah perhitungan faktor koreksi, tegangan uji keadaan standar dan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.6.

a. Isolasi tanpa *saltfog*

$$\delta = \frac{P}{1013} \times \frac{273+20}{273+T}$$

$$\delta = \frac{1010,5}{1013} \times \frac{273+20}{273+30}$$

$$\delta = 0,964610232$$

$$\begin{aligned} \text{maka } V_s &= \frac{V}{\delta} \\ &= \frac{54}{0,964610232} \end{aligned}$$

$$= 55,9812 \text{ kV}$$

b. Isolasi dengan *saltfog*
(salinasi 9,409 Kg/m³)

$$\delta = \frac{P}{1013} \times \frac{273+20}{273+T}$$

$$\delta = \frac{1009,9}{1013} \times \frac{273+20}{273+28,6}$$

$$\delta = 0,964610232$$

$$\begin{aligned} \text{maka } V_s &= \frac{V}{\delta} \\ &= \frac{50}{0,964610232} \end{aligned}$$

$$= 51,6256 \text{ kV}$$

- c. Isolasi tanpa *saltfog*
(salinasi 18,818 Kg/m³)

$$\delta = \frac{P}{1013} \times \frac{273+20}{273+T}$$

$$\delta = \frac{1008,7}{1013} \times \frac{273+20}{273+29,9}$$

$$\delta = 0,963209866$$

$$\begin{aligned} \text{maka } V_s &= \frac{V}{\delta} \\ &= \frac{48}{0,963209866} \\ &= 49,8334 \text{ kV} \end{aligned}$$

- d. Isolasi dengan *saltfog*
(salinasi 28,227 Kg/m³)

$$\delta = \frac{P}{1013} \times \frac{273+20}{273+T}$$

$$\delta = \frac{1010,0}{1013} \times \frac{273+20}{273+28,9}$$

$$\delta = 0,968608357$$

$$\begin{aligned} \text{maka } V_s &= \frac{V}{\delta} \\ &= \frac{46}{0,968608357} \\ &= 47,4908 \text{ kV} \end{aligned}$$

- e. Isolasi tanpa *saltfog*
(salinasi 37,636 Kg/m³)

$$\delta = \frac{P}{1013} \times \frac{273+20}{273+T}$$

$$\delta = \frac{1009,5}{1013} \times \frac{273+20}{273+29,1}$$

$$\delta = 0,966526516$$

$$\begin{aligned} \text{maka } V_s &= \frac{V}{\delta} \\ &= \frac{42}{0,966526516} \\ &= 43,4546 \text{ kV} \end{aligned}$$

- f. Isolasi dengan *saltfog*
(salinasi 47,045 Kg/m³)

$$\delta = \frac{P}{1013} \times \frac{273+20}{273+T}$$

$$\delta = \frac{1010,0}{1013} \times \frac{273+20}{273+28,4}$$

$$\delta = 0,969251096$$

$$\begin{aligned} \text{maka } V_s &= \frac{V}{\delta} \\ &= \frac{34}{0,969251096} \\ &= 35,0786 \text{ kV} \end{aligned}$$

g. Isolasi tanpa *saltfog*
(salinasi 56,454 Kg/m³)

$$\delta = \frac{P}{1013} \times \frac{273+20}{273+T}$$

$$\delta = \frac{1009,4}{1013} \times \frac{273+20}{273+28,2}$$

$$\delta = 0.969318514$$

$$\begin{aligned} \text{maka } V_s &= \frac{V}{\delta} \\ &= \frac{30}{0.969318514} \end{aligned}$$

$$= 30.9496 \text{ kV}$$

h. Isolasi dengan *saltfog*
(salinasi 65,863 Kg/m³)

$$\delta = \frac{P}{1013} \times \frac{273+20}{273+T}$$

$$\delta = \frac{1010,9}{1013} \times \frac{273+20}{273+26,6}$$

$$\delta = 0.975943245$$

$$\begin{aligned} \text{maka } V_s &= \frac{V}{\delta} \\ &= \frac{24}{0.975943245} \end{aligned}$$

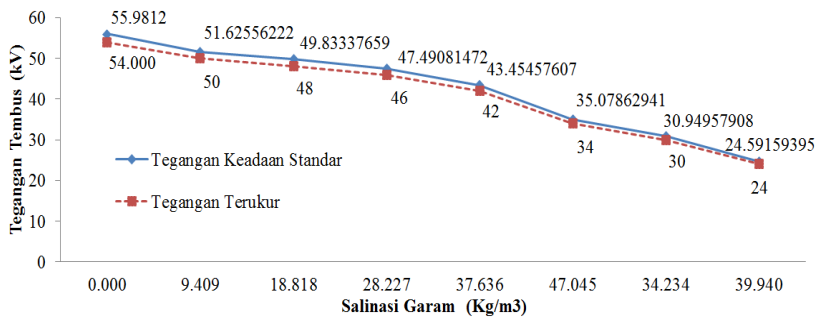
$$= 24,5916 \text{ kV}$$

Tabel 4.6 Hasil tegangan lewat denyar keadaan standar

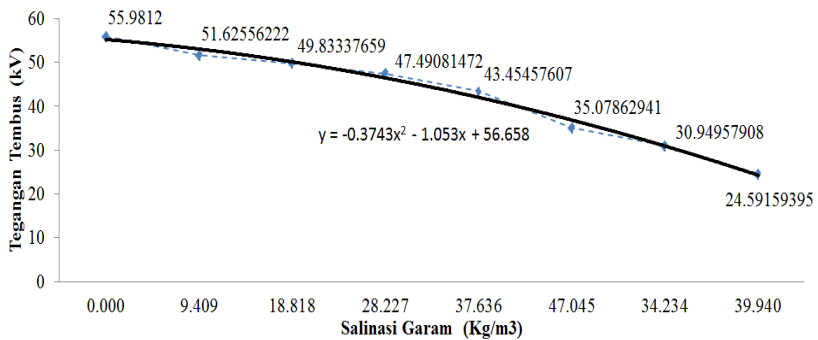
No.	Salinasi (Kg/m ³)	Tegangan Terukur (kV)	Faktor Koreksi (δ)	Tegangan uji keadaan standar(kV)
1	tanpa salinasi	54	0,964610232	55,9812
2	9,409	50	0,968512455	51,6256
3	18,818	48	0,963209866	49,8334
4	28,227	46	0,968608357	47,4908
5	37,636	42	0,966526516	43,4546
6	47,045	34	0,969251096	35,0786
7	56,454	30	0,969318514	30.9496
8	65,863	24	0,975943245	24,5916

Data pengujian *breakdown voltage test*, yang telah didapatkan dari hasil pengukuran dan perhitungan, selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4.7. Terlihat bahwa tegangan terukur dan tegangan hasil perhitungan mempunyai nilai yang hampir sama dan semakin besar tingkat salinasi pada *salt-fog test* didapatkan bahwa nilai tegangan *breakdown* lewat denyar semakin kecil, hal ini disebabkan

karena kemampuan dielektrik isolator keramik semakin berkurang karena kontaminasi polutan yang menempel pada permukaan isolator bersifat konduktif dan mengurangi jarak rambat (*creepage distance*) tegangan pada isolator. Melalui *software* Ms. Excel diperoleh persamaan polinomial dari kelajuan tegangan *breakdown* lewat denyar isolator, yaitu $y = -0,3743X^2 - 1,053X + 56,658$ (gambar 4.8). Y adalah Tegangan *breakdown* lewat denyar (kV) dan x adalah salinasi garam pada *salt-fog test* (Kg/m^3).



Gambar 4.7 Grafik kelajuan tegangan lewat denyar isolator



Gambar 4.8 Grafik persamaan kelajuan tegangan standar lewat denyar isolator

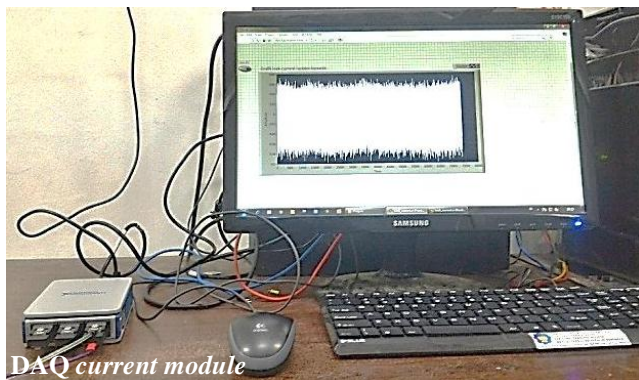
4.5 Pengujian Terhadap Arus Bocor Isolator

Setelah proses *salt-fog* telah dilaksanakan, isolator dikeluarkan dari *chamber* pengujian *salt-fog*, kemudian diletakkan pada rangkaian *leakage-current test* seperti gambar 4.5.

Setelah isolator diletakkan pada rangkaian *leakage-current test* kemudian diberikan tegangan AC 20 kV. Selanjutnya pada bagian netral modul pembangkitan dipasang CT-200/5 untuk *sensing* besar arus bocor isolator. Data arus bocor dari CT akan diterima DAQ *current module* untuk dicatat pada *software* Labview setiap 1 menit, seperti pada gambar 4.10. Pengambilan data arus bocor isolator dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap salinasi.



Gambar 4.9 CT-200/5



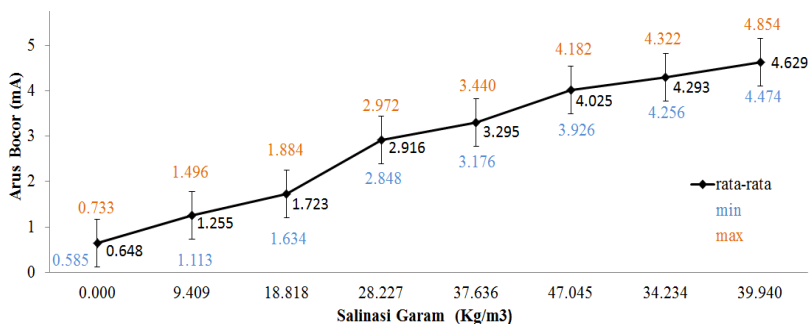
Gambar 4.10 Pencatatan data arus bocor isolator melalui *software* Labview

Data arus bocor isolator yang diperoleh dari *software* Labview kemudian diolah menggunakan *software* Diadem dan Ms. Excel unruk memperoleh nilai arus RMS. Data arus RMS pengujian pertama, kedua dan ketiga selanjutnya diolah dan dihitung untuk mendapatkan nilai rata-rata RMS arus bocor rata-rata pada isolator, hasil pengolahan data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.7

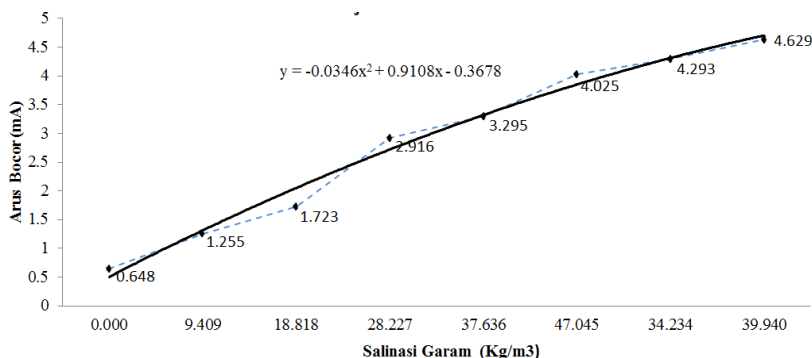
Tabel 4.7 Hasil pengukuran arus bocor

No.	Salinasi (Kg/m ³)	Arus Bocor (mA)			
		I	II	III	Rata-Rata
1	-	0,627	0,733	0,585	0,648
2	9,409	1,156	1,496	1,112	1,255
3	18,818	1,652	1,884	1,634	1,723
4	28,227	2,972	2,929	2,848	2,916
5	37,636	3,269	3,440	3,175	3,295
6	47,045	4,182	3,967	3,926	4,025
7	56,454	4,300	4,255	4,433	4,293
8	65,863	4,474	4,559	4,854	4,629

Data pengujian arus bocor pada tabel 4.7 kemudian disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar 4.11 dan diperoleh persamaan dari pengaruh salinasi pada *saltfog test* terhadap kelajuan arus bocor rata-rata isolator pada gambar 4.12 yaitu $y = -0,0346X^2 + 0,9108X - 0,3678$ [y adalah arus bocor pada isolator (mA) dan x adalah salinasi garam pada *salt-fog test* (Kg/m³)]



Gambar 4.11 Grafik kelajuan arus bocor isolator



Gambar 4.12 Grafik persamaan kelajuan arus bocor rata-rata isolator

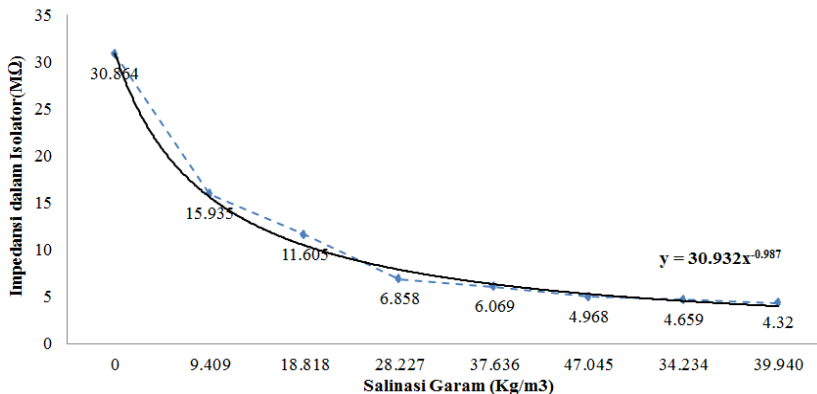
Dari data arus bocor rata-rata yang telah diperoleh, kemudian diperhitungkan impedansi dalam isolator menggunakan rumus:

$$Z = \frac{V_{rms}}{I_{rms}}$$

Maka diperoleh data impedansi isolator melalui perhitungan, terlihat pada tabel 4.8. Kemudian data impedansi isolator disajikan dalam bentuk grafik dan diperoleh persamaan salinasi garam terhadap impedansi isolator, $y = 30,932 X^{-0,987}$ [y adalah impedansi isolator ($M\Omega$) dan x adalah salinasi garam pada *salt-fog test* (Kg/m^3)], dapat dilihat pada gambar 4.13.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan impedansi dalam isolator

No.	Salinasi (Kg/m^3)	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor rata-rata(mA)	Impedansi Isolator ($M\Omega$)
1	tanpa salinasi	20	0,648	30,864
2	9,409		1,255	15,935
3	18,818		1,723	11,605
4	28,227		2,916	6,858
5	37,636		3,295	6,069
6	47,045		4,025	4,968
7	56,454		4,293	4,659
8	65,863		4,629	4.320



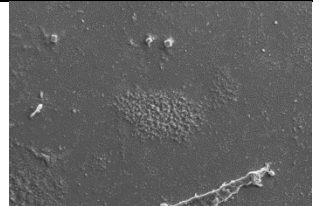
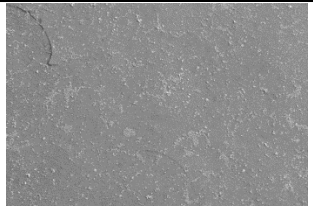
Gambar 4.13 Grafik persamaan kelajuan arus bocor rata-rata isolator

Dari data yang telah diperoleh didapatkan bahwa nilai kelajuan arus bocor rata-rata menjadi semakin besar berbanding lurus besar salinasi garam, hal ini disebabkan karena semakin besar salinasi garam pada isolator maka semakin besar pula polutan yang menempel pada permukaan isolator. Karena kontaminasi polutan yang menempel pada permukaan isolator bersifat konduktif, maka akan mengurangi nilai impedansi dalam isolator sehingga arus bocor pada isolator semakin meningkat.

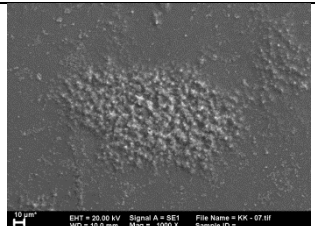
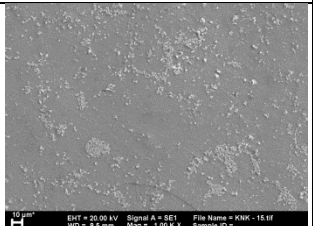
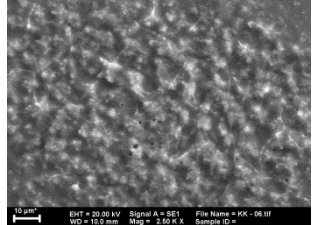
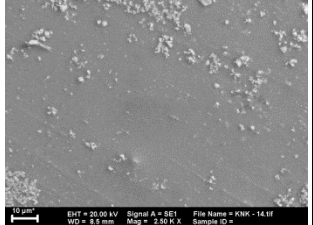
4.6 Hasil SEM-test

Pengujian SEM dilakukan setelah pengujian tegangan *breakdown* lewat denyar dan arus bocor isolator telah dilakukan. Sampel yang digunakan adalah isolator keramik berkontaminan dengan salinasi 65,863 kg/m³ dan isolator tanpa kontaminan.

Tabel 4.9 Hasil SEM-test

Perbesaran	Isolator Keramik	
	Kontaminan	Tanpa Kontaminan
500 x		

Tabel 4.9 Hasil SEM-test (lanjutan)

Perbesaran	Isolator Keramik	
	Kontaminan	Non-Kontaminan
1000 x		
2500 x		

Berdasarkan data pengujian SEM, terlihat terdapat perbedaan penampakan permukaan isolator keramik berkontaminan dengan salinasi $65,863 \text{ kg/m}^3$ dan isolator tanpa kontaminan.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian keramik pada saluran distribusi 20 kV di daerah pesisir pantai akibat kontaminan udara adalah sebagai berikut:

1. Tegangan *breakdown* lewat denyar isolator yang menurun tiap kenaikan salinasi garam. Hal ini terlihat dari nilai tegangan *breakdown* lewat denyar isolator terbesar ketika isolator tanpa proses *salt-fog* (tanpa prekondisi) yaitu sebesar 54 kV sedangkan nilai terkecil sebesar 24 kV ketika isolator bersalinasi 65,863 kg/m³.
2. Ketahanan isolator keramik terhadap arus bocor menurun sebanding dengan besar salinasi garam. Hal ini bisa terlihat dari nilai arus bocor rata-rata isolator terkecil ketika isolator tanpa proses *salt-fog* (tanpa prekondisi) yaitu sebesar 0,648 mA, sedangkan nilai arus bocor terbesar, yaitu 4,629 mA didapatkan ketika isolator bersalinasi 65,863 kg/m³.
3. Impedansi isolator yang menurun tiap kenaikan salinasi garam. Nilai perhitungan impedansi dalam isolator terbesar ketika isolator tanpa proses *salt-fog* (tanpa prekondisi) yaitu sebesar 30,864 M Ω sedangkan nilai terkecil sebesar 4,320 M Ω ketika isolator bersalinasi 65,863 kg/m³.

5.2 Saran

Setelah melakukan pengujian terhadap keramik pada saluran distribusi 20 kV di daerah pesisir pantai akibat kontaminan udara, saya menyarankan dalam pengujian selanjutnya memperhatikan kondisi temperatur, kelembaban dan tekanan udara ruang pengujian. Setiap selesai melakukan proses *salt-fog*, *chamber* harus dibersihkan secara menyeluruh dan dikeringkan terlebih dahulu supaya tidak terjadi peristiwa korona pada *chamber* pengujian.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bonggas L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi*, Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga, 2012.
- [2] Sudarsana Rao hunchate, Giridhar Valikala, and Vaishali. G. Ghorpade, "Influence of Water Absorption of the Ceramic Aggregate on Strength Properties of Ceramic Aggregate Concrete," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, Nov. 2013.
- [3] Mustamin and Salama Manjang, "Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi Di Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan Yang Dipercepat," *MEDIA Elektr.*, vol. 5, Desember 2010.
- [4] I Made Yulistya Negara, *Teknik Tegangan Tinggi Prinsip dan Aplikasi Praktis*. Graha Ilmu, 2013.
- [5] PT. PLN (Persero), "Kriteria Desain Enjiniring Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik." 2010.
- [6] Yusrizal Afif, *Analisis Distribusi Medan Listrik Pada Isolator Gantung Menggunakan Cst Studio Suite*. 2014.
- [7] PT. PLN (Persero), "SPLN 10-3B." 1993.
- [8] "Artificial Pollution Tests on High Voltage Insulators bo be Used on A.C. Systems." IEC-501, 1991.
- [9] Melfa silitongga and Abdul Syakur, "Pengujian Tegangan Impuls Pada Isolator Tonggak Pin (Pin-Post) Untuk Saluran Udara Tegangan Menengah," *Tek. Elektro Univ. Diponegoro*, p. 2011.
- [10] Muhammad Suyanto, "Pengujian Isolator Pin-Post 20 kV Terkontaminasi Garam Mengakibatkan Arus Bocor Flashover Pada Permukaan," *Pros. Semin. Nas. Apl. Sains Teknol. SNAST Periode II*, Desember 2010.
- [11] K. Jaghannath, "Measurement of Air Breakdown Voltage and Electric Field Using Standard Sphere Gap Method," *Imp. J. Interdiscip. Res. IJIR*, vol. 2, no. 10, 2016.
- [12] Luiz Henrique Meyer, Fernando Hidalgo Molina, and Wagner Werner Beyer, "Salt Fog Testing of Glass Insulators with Different Surface Conditions," *IEEE*, Oct. 2013.
- [13] Ayman H. El-Hag, "Promoting Condition Monitoring and Diagnostics of Electrical Insulation in Undergraduate Capstone Graduation Projects," *IEEE*, vol. 31, Oct. 2015.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

RIWAYAT HIDUP



Dirman Hariono Santosa dilahirkan di Nganjuk, 26 April 1994. Penulis memulai jenjang pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri Kepuh dari tahun 2000-2006. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Kertosono. Tahun 2009 penulis diterima sebagai murid di SMA Negeri 1 Kertosono. Pada tahun 2012, penulis melanjutkan jenjang pendidikan di Jurusan D3 Teknik Elektro Program Studi Elektro Industri - ITS Surabaya hingga lulus tahun 2015. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan Program Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui program Lintas Jalur tahun 2015 dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

Halaman ini sengaja dikosongkan.